循环高温对蛋鸡产蛋性能、蛋壳品质及钙磷代谢的影响

刁华杰[1,2]　冯京海[1*]　张敏红[1]　刁新平[2]　周　莹[1]　李　萌[1,2]　王雪洁[1]

（1.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，北京 100193；2.东北农业大学动物科技学院，哈尔滨 150030）

摘　要：本试验旨在模拟夏季蛋鸡舍内的循环高温，研究不同温度对蛋鸡生产性能、蛋壳品质及钙磷代谢的影响。选取 28 周龄高产海兰褐蛋鸡 288 只，随机分为 21 ℃适温组（自由采食）、27~30 ℃循环高温组（自由采食）、29~35 ℃循环高温组（自由采食）和 21 ℃采食配对组（按前 1 d 29~35 ℃循环高温组的采食量饲喂），每个组 6 个重复，每个重复 12 只鸡，分别饲养于 4 个人工环境控制舱内，试验期 4 周。结果表明：与 21 ℃适温组相比，27~30 ℃循环高温组蛋鸡平均日采食量、体增重和平均蛋重显著降低（$P<0.05$），蛋壳强度显著降低（$P<0.05$），蛋鸡钙、磷的代谢率差异不显著（$P>0.05$），但钙、磷的吸收量显著降低（$P<0.05$），除蛋黄颜色显著降低（$P<0.05$）外，鸡蛋品质其他相关指标差异不显著（$P>0.05$）；而 29~35 ℃循环高温组除平均日采食量、体增重和平均蛋重显著降低（$P<0.05$）外，产蛋率同样显著降低（$P<0.05$），蛋壳厚度和蛋壳强度均显著降低（$P<0.05$），破蛋率显著升高($P<0.05$)，蛋鸡钙、磷的代谢率差异不显著（$P>0.05$），而钙、磷吸收量同样显著降低（$P<0.05$），鸡蛋蛋白高度和蛋黄颜色均显著降低（$P<0.05$）。与 21 ℃采食配对组相比，29~35 ℃循环高温组平均蛋重显著降低（$P<0.05$），料蛋比显著提高（$P<0.05$），蛋壳强度显著降低（$P<0.05$），钙、磷的代谢率和吸收量差异不显著（$P>0.05$），鸡蛋品质差异不显著（$P>0.05$）。结果提示，夏季鸡舍内温度在 27~30 ℃波动即可显著降低蛋鸡的体增重、平均蛋重和蛋壳品质；而 29~35 ℃不仅显著降低蛋鸡的体增重、产蛋率、平均蛋重以及蛋壳品质，还显著影响鸡蛋的蛋白高度和蛋黄颜色。高温对蛋鸡产蛋性能及蛋白高度和蛋黄颜色的影响可能与降低采食量有关；高温可能直接影响蛋壳的形成，也可能由于降低钙、磷吸收量影响蛋壳品质。

关键词：循环高温；蛋鸡；产蛋性能；蛋壳品质；钙磷代谢率

中图分类号：S831.4　　文献标识码：A　　文章编号：1006-267X(2017)00-0000-00

夏季高温环境影响蛋鸡的生产性能以及蛋壳品质，导致巨大的经济损失[1-3]。大量研究

收稿日期：2017–01–12

基金项目：国家“十二五”科技支撑课题（2012BAD39B02）；中国农业科学院科技创新工程(ASTIP-IAS07)

作者简介：刁华杰（1989–），男，河南商丘人，硕士研究生，动物营养与饲料科学专业。E-mail: huajie0933@163.com

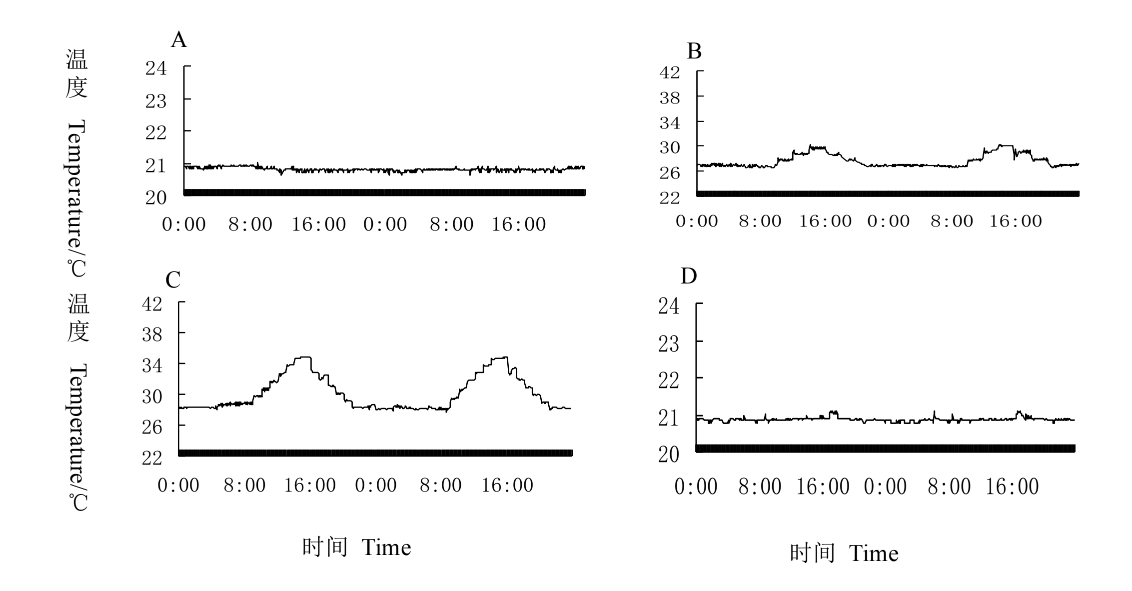
*通信作者：冯京海，副研究员，硕士生导师，E-mail: fjh6289@126.com

发现，持续高温降低蛋鸡采食量[4-8]、体重[9-10]、产蛋率[11-12]、蛋重[13-14]以及蛋壳品质[15-17]。实际生产中并不存在长时间的持续高温，而循环高温的研究相对较少。Emery 等[13]报道，21.1~37.7 ℃的循环高温导致蛋鸡采食量下降 15.6%，蛋重降低 7.4%，蛋壳厚度降低 15.4%。De Andrade 等[10]同样发现 26.7~35.6 ℃循环高温降低蛋鸡的产蛋性能及蛋壳品质。蛋壳的形成与蛋鸡钙磷代谢密切相关[3,18]。Mahmoud 等[19]研究表明，35 ℃急性高温应激降低蛋鸡十二指肠吸收运输钙离子的能力，破坏血液且酸碱平衡，降低血液总钙水平。Odom 等[20]研究同样表明急性热应激显著降低蛋鸡血液钙离子水平。Roberts[3]报道高温环境影响与钙磷代谢相关的碳酸酐酶活性。张景城[21]研究表明 30.5 ℃持续热应激降低蛋壳腺钙转运蛋白（*CaBP-d28k*）的表达，进而影响蛋壳品质[3]。上述研究表明，持续高温或较高的循环高温影响蛋鸡的产蛋性能、蛋壳品质及钙磷代谢。一般认为蛋鸡生产的适宜温度为 21~23 ℃，并有研究提出蛋鸡 21 ℃环境下发挥最佳产蛋性能[22]，而目前我国蛋鸡生产中除少量鸡舍采用自然通风或机械通风降温外（该类鸡舍夏季舍内温度一般在 29~35 ℃波动[23]），大部分规模化蛋鸡舍均安装了风机–湿帘等降温系统，夏季鸡舍内温度一般可以控制在 30 ℃以下[24-25]，这种较低的循环温度是否会蛋鸡产蛋性能及蛋壳品质目前尚不清楚，因此导致大多数生产及研究人员忽视夏季高温对蛋鸡的影响。因此，本试验通过模拟夏季蛋鸡舍内温度的变化，以产蛋最适温度（21 ℃）为对照，研究不同循环高温（27~30 和 29~35 ℃）对蛋鸡产蛋性能、蛋壳品质及钙磷代谢的影响，以期为夏季蛋鸡的饲养管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物及分组

选择 28 周龄健康、连续产蛋的海兰褐蛋鸡 288 只，随机分为 4 个组，分别为 21 ℃适温组（自由采食）、27~30 ℃循环高温组（自由采食）、29~35 ℃循环高温组（自由采食）和 21 ℃采食配对组（按前 1 d 29~35 ℃循环高温组的采食量饲喂），每组 6 个重复，每个重复 12 只鸡（饲养于 4 个蛋鸡笼内），分布饲养于 4 个人工环境控制舱内，每个组均采用 16 h（白天）：8 h（黑夜）的光照制度，相对湿度均设为 60%，自由饮水，试验期 4 周。试验在动物营养学国家重点实验室程控式人工气候舱（简称环控舱）内进行。其中 21 ℃适温组和采食配对组所在舱内温度在试验期间维持（21±1） ℃不变，2 个循环高温组所在舱内温度在试验期间每天在 27~30 ℃或 29~35 ℃循环变动。舱内温度用微型温度记录仪（DS1922L, 美国，精确度±0.5℃）记录，各环控舱内每日温度变化见实测图 1。



A：21 ℃适温舱；B：27~30 ℃循环高温舱；C：29~35 ℃循环高温舱；D：21 ℃采食配对舱。

A：21 ℃ chamber; B: 27~30 ℃ cyclic high-temperature chamber; C: 29~35 ℃ cyclic high-temperature chamber; D: 21 ℃ pair-feeding chamber.

图 1　环境控制舱温度实测值

Fig.1　The measured temperature of programmable artificial climate chambers

1.2　试验饲粮及饲养管理

蛋鸡饲喂玉米–豆粕型基础饲粮，参照 NRC（1994）和《鸡饲养标准》(NY/T 33—2004)，并结合生产实际配制饲粮，基础饲粮组成及营养水平见表 1。日常饲养管理参照《海兰褐蛋鸡饲养手册（2014）》进行。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	64.96
豆粕 Soybean meal	23.00
鱼粉 Fish meal	1.00
石粉 Limestone	8.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.00
豆油 Soybean oil	0.70
DL–蛋氨酸 *DL*-Met	0.04

食盐 NaCl	0.30
预混料 Premix[1]	1.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/（MJ/kg）	11.48
粗蛋白质 CP	16.40
钙 Ca	3.31
总磷 TP	0.58
有效磷 AP	0.38
赖氨酸 Lys	0.81
蛋氨酸 Met	0.31
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.60

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diet：VA 8 000 IU，VD_3 3 000 IU，VE 10 IU，VK 2 mg，VB_{12} 0.04 mg，VB_1 4.5 mg，VB_2 2.5 mg，VB_6 3 mg，泛酸 pantothenic acid 5 mg，烟酸 nicotinic acid 20 mg，叶酸 folic acid 0.3 mg，生物素 biotin 0.1 mg，胆碱 choline 500 mg，Mn ($MnSO_4$•$5H_2O$) 80.00 mg，Zn ($ZnSO_4$·$7H_2O$) 65 mg，Fe ($FeSO_4$·$7H_2O$) 80 mg，Cu ($CuSO_4$•$5H_2O$) 8 mg，I (KI) 0.5 mg，Se (Na_2SeO_3) 0.3 mg。

[2)] 计算值 Calculated values。

1.3 样品采集与测定

1.3.1 蛋鸡生产性能

试验开始及结束分别称蛋鸡体重，并在试验期间以重复为单位记录蛋鸡每天的采食量、产蛋数、破蛋数和总蛋重；计算体增重、平均日采食量、产蛋率、破蛋率、平均蛋重及料蛋比。

1.3.2 样品采集与测定

采用全收粪法测定蛋鸡钙、磷代谢率和吸收量。试验第 25 天，每个重复选取 1 个笼（3 只鸡）连续 3 d 准确记录饲粮采食量，测定饲粮中钙和磷含量，计算钙、磷食入量；连续 3 d 收集每笼蛋鸡的排泄物（收集粪样时拣出羽毛及杂物），混合均匀，烘干，称重，粉碎，过 40 目筛，测定排泄物中钙和磷的含量，计算钙和磷排泄量。

钙、磷代谢率（%）=100×（钙、磷食入量－钙、磷排泄量）/钙、磷食入量；

钙、磷吸收量（g/d）=钙、磷采食量－钙、磷排泄量。

试验第 26 天，每组随机取 18 枚鸡蛋(每个重复 3 枚)。用 EMT5200 多功能蛋品质分析仪（Robotmation 公司，日本）测定蛋壳强度、蛋白高度、哈氏单位、蛋黄颜色；用 NFN380

（FHK 公司，日本）测量蛋壳钝端、中部和锐端 3 处的厚度，取平均值为蛋壳厚度；蛋黄中胆固醇、甘油三酯含量，用日立 7600 全自动生化仪测定。

1.4　数据统计与分析

采用 SAS 9.2 软件中的 ANOVA 过程对 21 ℃适温组、27~30 ℃循环高温组、29~35 ℃循环高温组进行单因素方差分析，方差分析显著者采用 Duncan 氏法进行多重比较；采用 SAS 9.2 软件中 t 检验对 21 ℃采食配对组和 29~35 ℃循环高温组数据进行配对 t 检验分析，结果均以平均值±标准差表示，$P\leq0.05$ 为差异显著，$0.05<P\leq0.10$ 为有影响趋势。

2　结果与分析

2.1　循环高温对蛋鸡生产性能的影响

由表 2 可知，循环高温显著影响蛋鸡平均日采食量、产蛋率、平均蛋重及体增重等生产性能指标。与 21 ℃适温组相比，27~30 ℃循环高温组蛋鸡平均采食量、平均蛋重和体增重显著降低（$P<0.05$），产蛋率及料蛋比差异不显著（$P>0.05$）；29~35 ℃循环高温组蛋鸡平均日采食量、产蛋率、平均蛋重及体增重均显著降低（$P<0.05$）。与 21 ℃采食配对组相比，29~35 ℃循环高温组蛋鸡平均蛋重显著降低（$P<0.05$），料蛋比显著提高（$P<0.05$）。

表 2　循环高温对蛋鸡生产性能的影响

Table 2　Effects of cyclic ambient temperature on performance of laying hens

组别 Groups	平均日采食量 Average daily feed intake/(g/d)	产蛋率 Egg production/%	平均蛋重 Average egg Weight/g	料蛋比 Feed/egg	体增重 Body weight gain /g
自由采食 *Ad libitum*					
21 ℃	115.17±5.29[a]	87.65±5.02[a]	63.31±1.14[a]	2.08±0.17	239.11±68.83[a]
27~30 ℃	99.08±1.84[b]	80.36±4.93[a]	61.44±0.81[b]	2.02±0.14	62.20±60.14[b]
29~35 ℃	84.40±7.05[c]	72.37±8.64[b]	59.99±1.09[c]	1.96±0.13	−51.62±83.96[c]
P 值 *P*-value	<0.000 1	0.003 5	0.000 2	0.286 0	<0.000 1
相同采食 The same feed intake					
配对 Pair-feeding	85.90±5.59	76.89±2.71	62.24±1.12[a]	1.80±0.07[a]	−13.38±72.54
29~35 ℃	84.40±7.05	72.37±8.64	59.99±1.10[b]	1.96±0.13[b]	−51.62±83.96
P 值 *P*-value	—	0.166 4	0.000 7	0.049 4	0.106 5

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)，相同字母或未标字母者表示差异不显著($P>0.05$)。下表同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference

(P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2　循环高温对蛋鸡蛋壳品质的影响

由表 3 可知，循环高温影响蛋鸡蛋壳品质。与 21 ℃适温组相比，27~30 ℃循环高温组蛋壳强度显著降低(P<0.05)，29~35 ℃循环高温组蛋壳厚度、蛋壳强度显著降低(P<0.05)，破蛋率显著升高(P<0.05)。与 21 ℃采食配对组相比，29~35 ℃循环高温组的蛋壳厚度有降低趋势（P<0.10），破蛋率有升高趋势（P=0.10），蛋壳强度显著降低（P<0.05）。

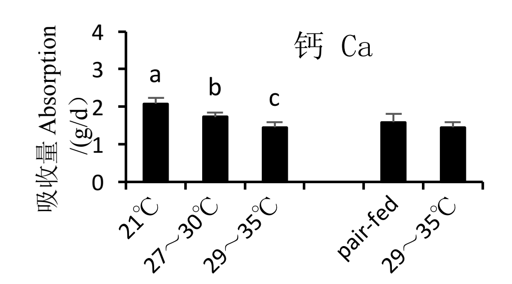
表 3　循环高温对蛋鸡蛋壳品质的影响

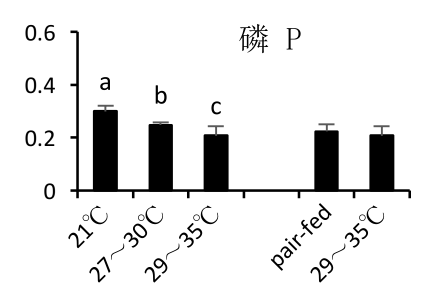
Table 3　Effects of cyclic high ambient temperature on egg shell quality of laying hens

组别 Groups	蛋壳厚度 Egg shell thickness/mm	蛋壳强度 Shell strength/(N/cm^2)	破蛋率 Broken egg rate/%
自由采食 *Ad libitum*			
21 ℃	0.378±0.02^a	49.75±3.61^a	0.347±0.31^a
27~30 ℃	0.367±0.01^{ab}	43.71±2.32^b	1.517±0.86^{ab}
29~35 ℃	0.356±0.01^b	43.42±3.69^b	2.623±2.23^b
P 值 *P*-value	0.017 6	0.006 5	0.041 1
相同采食 The same feed intake			
配对 Pair-feeding	0.374±0.02^a	45.57±4.33^a	0.847±0.89
29~35 ℃	0.356±0.01^b	43.42±3.69^b	2.623±2.23
P 值 *P*-value	0.072 1	0.005 1	0.101 0

2.3　循环高温对蛋鸡钙磷代谢的影响

由图 2 可知，循环高温不影响钙、磷的代谢率，但显著降低钙、磷的吸收量。与 21 ℃适温组相比，2 个循环温度组蛋鸡钙、磷代谢率均无显著差异(P>0.05)，但钙、磷吸收量均显著降低(P<0.05)。与 21 ℃采食配对组相比，29~35 ℃循环高温组蛋鸡钙、磷代谢率和吸收量均无显著差异(P>0.05)。





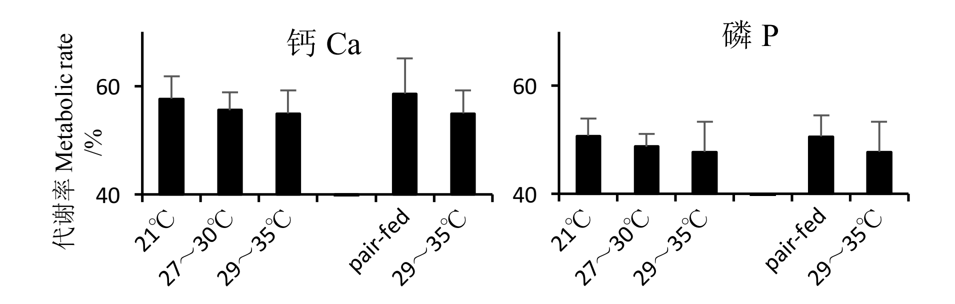


图 2　循环高温对蛋鸡钙磷代谢的影响

Fig.2　Effects of cyclic ambient temperature on metabolism of calcium and phosphorous of laying hens

2.4　循环高温对蛋鸡鸡蛋品质的影响

由表 4 可知，循环高温影响鸡蛋品质。与 21 ℃适温组相比，27~30 ℃循环高温组蛋黄颜色显著下降(P<0.05)，29~35 ℃循环高温组蛋白高度和蛋黄颜色均显著降低(P<0.05)，循环高温对哈氏单位及胆固醇和甘油三酯含量无显著影响（P>0.05）；而与 21 ℃采食配对组相比，29~35 ℃循环高温组鸡蛋中胆固醇的含量显著升高(P<0.05)。

表 4　循环高温对蛋鸡鸡蛋品质的影响

Table 4　Effects of cyclic high ambient temperature on egg quality of laying hens

组别 Groups	蛋白高度 Albumen height/mm	哈氏单位 Haugh unit	蛋黄颜色 Yolk color	胆固醇 TC/(mg/g)	甘油三酯 TG/(mg/g)
自由采食 *Ad libitum*					
21 ℃	8.350±0.31[a]	90.06±2.18	7.789±0.46[a]	13.28±0.67	9.56±0.41
27~30 ℃	8.061±0.26[ab]	89.18±1.94	7.361±0.24[b]	13.72±0.97	9.48±0.34
29~35 ℃	7.886±0.24[b]	88.97±1.52	7.161±0.15[b]	14.26±1.19	10.15±0.82
P 值 *P*-value	0.030 4	0.584 4	0.009 7	0.245 1	0.133 8
相同采食 The same feed intake					
配对 Pair-feeding	8.033±0.66	88.69±4.02	7.267±0.29	11.28±1.96[a]	9.84±1.54
29~35 ℃	7.886±0.24	88.97±1.52	7.161±0.15	14.26±1.19[b]	10.15±0.82
P 值 *P*-value	0.610 1	0.864 5	0.209 1	0.014 7	0.660 7

3　讨　论

3.1　循环高温对蛋鸡生产性能的影响

随着风机–湿帘等降温系统的普及，夏季规模化蛋鸡舍内的温度基本可以控制在 30 ℃以下[24-25]，生产和研究人员往往忽视夏季高温的影响。本研究发现，27~30 ℃循环高温显著降低蛋鸡的平均日采食量、体增重以及平均蛋重，表明即使安装降温系统，夏季高温仍可显著

影响蛋鸡的产蛋性能。如果鸡舍仅采用自然通风或机械通风的方式降温，夏季鸡舍温度可在29~35 ℃波动[13]，本研究发现，29~35 ℃循环高温条件下蛋鸡平均日采食量、体增重、产蛋率和平均蛋重均显著降低。Emery 等[13]报道，21.1~37.7 ℃的循环高温显著降低蛋鸡平均日采食量和平均蛋重，对产蛋率影响不显著。De Andrade 等[10]和 Mashaly 等[14]等也有相似报道。上述研究未发现循环高温影响蛋鸡的产蛋率，可能与其下限温度较低（21.0~23.9 ℃）有关。本试验选择的下限温度为 29 ℃，符合夏季高温季节蛋鸡舍内的实际环境。本研究还发现，在相同采食量的条件下，29~35 ℃循环高温仍显著降低蛋鸡的平均蛋重，提高蛋鸡的料蛋比，表明高温降低蛋鸡采食量是影响产蛋性能的主要原因，但并不是唯一因素，环境高温还可能影响营养物质的消化、吸收和利用，或直接影响蛋鸡卵泡的发育，其机制仍需进一步研究。

3.2　循环高温对蛋鸡蛋壳品质的影响

环境高温降低蛋壳厚度[26-27]及蛋壳强度[12]，导致蛋壳破损率[10,26]显著提高，这可能是高温造成巨大经济损失的主要原因之一[1-3]。本研究发现，27~30 ℃循环高温显著影响蛋壳强度，破蛋率在数值上也有较大差异（0.347% vs. 1.517%），表明即使安装风机+湿帘，夏季高温仍可显著影响蛋壳品质。本研究发现，在自由采食条件下，29~35 ℃循环高温显著影响蛋壳厚度、强度以及破蛋率，而在相同采食条件下，29~35 ℃循环高温依然显著影响蛋壳强度，对蛋壳厚度和破蛋率有影响趋势，这表明高温可能直接影响蛋壳的形成，有研究发现，(30.5±0.1) ℃高温显著下调与蛋壳形成密切相关的蛋壳腺钙转运蛋白 *CaBP-d28k* 的表达，并影响蛋壳腺碳酸酐酶活性[21]，因此高温可直接影响蛋壳形成，但其机制仍需进一步研究。

3.3　循环高温对蛋鸡钙磷代谢的影响

蛋壳的形成与钙磷代谢密切相关[3,18]，本研究发现，循环高温不影响钙、磷的代谢率。但是 Mahmoud 等[19]通过体外实验发现，35 ℃高温应激降低蛋鸡十二指肠吸收运输钙离子的能力。Odom 等[20]同样发现急性热应激显著降低蛋鸡血液钙离子水平，表明短期急性高温应激影响蛋鸡肠道钙离子吸收。Wolfenson 等[28]发现 35 ℃高温应激 4 d 不影响火鸡钙的吸收，显著降低磷的吸收，而经 33 ℃适应后，35 ℃高温对火鸡钙磷的吸收均无显著影响，表明适应后能够减缓高温对钙磷吸收的影响。本研究采用的是循环高温，且处理时间较长，因此对于蛋鸡钙磷的代谢率无显著影响。本研究发现，虽然循环高温不影响钙、磷的代谢率，但显著降低钙、磷的吸收量，这主要由于采食量下降所导致。短期内蛋鸡钙摄入不足可以通过动

员骨中沉积的钙来满足蛋壳中钙的需要，长期钙、磷负平衡也会影响蛋壳的品质，有研究表明夏季高温环境下提高饲粮钙磷水平显著提高蛋壳强度、蛋壳厚度及蛋壳比重[29]。

3.4 循环高温对蛋鸡鸡蛋品质的影响

本研究发现，27~30 ℃循环高温降低了蛋黄颜色，29~35 ℃循环高温降低了蛋白高度和蛋黄颜色。Usayran 等[27]研究也发现 35 ℃持续高温降低蛋黄颜色。Bozkurt 等[30]的研究表明夏季高温环境显著降低了鸡蛋的蛋白高度。本研究发现，在相同采食量的条件下，29~35 ℃循环高温对蛋白高度和蛋黄颜色无显著影响，表明高温降低蛋白高度和蛋黄颜色可能跟采食量下降有关。蛋白高度受鸡蛋中浓蛋白的数量影响，而蛋黄颜色主要与玉米黄素的沉积有关，因此高温降低蛋白高度和蛋黄颜色可能是由于采食量降低，导致蛋鸡蛋白质和玉米黄素的采食量下降，从而降低了浓蛋白和玉米黄素在鸡蛋中的沉积，影响蛋白高度和蛋黄颜色。本研究还发现，在采食量相同条件下，29~35 ℃循环高温提高了鸡蛋中胆固醇的含量，表明高温可能直接促进胆固醇的合成或转运。高温对蛋品质的影响与机体脂肪代谢密切相关[31]，有研究发现，高温促进家禽肝脏中脂肪的合成[32]，加快脂肪的转运[33]，增加腹脂等部位脂肪的沉积[34]，但高温对胆固醇合成和转运的影响还需进一步研究。

4 结 论

① 夏季鸡舍温度在 27~30 ℃波动显著降低蛋鸡的平均日采食量、体增重、平均蛋重和蛋壳品质；而 29~35 ℃除降低上述指标外，还显著降低产蛋率和鸡蛋的蛋白高度和蛋黄颜色。

② 高温可能直接影响蛋壳的形成，也可能由于钙、磷吸收量下降影响蛋壳品质。

③ 高温对蛋鸡产蛋性能、蛋白高度和蛋黄颜色的影响可能与采食量下降有关。

参考文献：

[1] ROLAND D A.Research note:egg shell problems:estimates of incidence and economic impact[J].Poultry Science,1988,67(12):1801–1803.

[2] ST-PIERRE N R,COBANOV B,SCHNITKEY G.Economic losses from heat stress by US livestock industries[J].Journal of Dairy Science,2003,86(S):E52–E77.

[3] ROBERTS J R.Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens[J].The Journal of Poultry Science,2004,41(3):161–177.

[4] PEGURI A,COON C.Effect of temperature and dietary energy on layer performance[J].Poultry Science,1991,70(1):126–138.

[5] MARSDEN A,MORRIS T R,CROMARTY A S.Effects of constant environmental temperatures on the performance of laying pullets[J].British Poultry Science,1987,28(3):361–380.

[6] LILLIE R J,OTA H,WHITEHEAD J A,et al.Effect of environment and dietary energy on caged Leghorn pullet performance[J].Poultry Science,1976,55(4):1238–1246.
[7] UGURLU N,ACAR B,TOPAK R.Production performance of caged layers under different environmental temperatures[J].Archiv für Geflügelkunde,2002,66(1):43–46.
[8] PAYNE C G.Practical aspects of environmental temperature for laying hens[J].World's Poultry Science Journal,1966,22(2):126–139.
[9] DENG W,DONG X F,TONG J M,et al.The probiotic *Bacillus licheniformis* ameliorates heat stress-induced impairment of egg production,gut morphology,and intestinal mucosal immunity in laying hens[J].Poultry Science,2012,91(3):575–582.
[10] DE ANDRADE A N,ROGLER J C,FEATHERSTON W R,et al.Interrelationships between diet and elevated temperatures (cyclic and constant) on egg production and shell quality[J].Poultry Science,1977,56(4):1178–1188.
[11] ROZENBOIM I,TAKO E,GAL-GARBER O,et al.The effect of heat stress on ovarian function of laying hens[J].Poultry Science,2007,86(8):1760–1765.
[12] FRANCO-JIMENEZ D J,SCHEIDELER S E,KITTOK R J,et al.Differential effects of heat stress in three strains of laying hens[J].Journal of Applied Poultry Research,2007,16(4):628–634.
[13] EMERY D A,VOHRA P,ERNST R A,et al.The effect of cyclic and constant ambient temperatures on feed consumption,egg production,egg weight,and shell thickness of hens[J].Poultry Science,1984,63(10):2027–2035.
[14] MASHALY M M,HENDRICKS III G L,KALAMA M A,et al.Effect of heat stress on production parameters and immune responses of commercial laying hens[J].Poultry Science,2004,83(6):889–894.
[15] DE ANDRADE A N,ROGLER J C,FEATHERSTON W R.Influence of constant elevated temperature and diet on egg production and shell quality[J].Poultry Science,1976,55(2):685–693.
[16] BALNAVE D,MUHEEREZA S K.Improving eggshell quality at high temperatures with dietary sodium bicarbonate[J].Poultry Science,1997,76(4):588–593.
[17] MILLER P C,SUNDE M L.The effects of precise constant and cyclic environments on shell quality and other lay performance factors with Leghorn pullets[J].Poultry Science,1975,54(1):36–46.
[18] 陈杰,章世元.蛋壳的钙化过程及蛋壳腺的钙代谢调控[J].畜牧与兽医,2010,42(11):93–96.
[19] MAHMOUD K Z,BECK M M,SCHEIDELER S E,et al.Acute high environmental temperature and calcium-estrogen relationship in the hen[J].Poultry Science,1996,75(12):1555–1562.
[20] ODOM T W,HARRISON P C,BOTTJE W G.Effects of thermal-induced respiratory alkalosis on blood ionized calcium levels in the domestic hen[J].Poultry Science,1986,65(3):570–573.
[21] 张景城.环境因素对产蛋鸡生产性能以及蛋壳腺 *CaBP-d28k*、*PMCA* 表达的影响[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2014.
[22] MARSDEN A,MORRIS T R.Quantitative review of the effects of environmental temperature on food intake,egg output and energy balance in laying pullets[J].British Poultry Science,1987,28(4):693–704.
[23] 刘焕良.高温条件下日粮不同代谢能和蛋白质水平对蛋鸡生产性能和蛋品质的影响[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2009.

[24] 王校帅,吴武豪,裘正军,等.湿帘降温蛋鸡舍内温湿度分布规律[C]//生态环境与畜牧业可持续发展学术研讨会暨中国畜牧兽医学会 2012 年学术年会和第七届全国畜牧兽医青年科技工作者学术研讨会会议论文集——T01 畜舍环境与调控技术专题.北京:中国畜牧兽医学会,2012.
[25] 张妮娅,刘焕良,张金凤,等.华中地区夏季蛋鸡舍环境状况调查研究[J].养殖与饲料,2008(12):1–5.
[26] YAHAV S,SHINDER D,RAZPAKOVSKI V,et al.Lack of response of laying hens to relative humidity at high ambient temperature[J].British Poultry Science,2000,41(5):660–663.
[27] USAYRAN N,FARRAN M T,AWADALLAH H H,et al.Effects of added dietary fat and phosphorus on the performance and egg quality of laying hens subjected to a constant high environmental temperature[J].Poultry Science,2001,80(12):1695–1701.
[28] WOLFENSON D,SKLAN D,GRABER Y,et al.Absorption of protein,fatty acids and minerals in young turkeys under heat and cold stress[J].British Poultry Science,1987,28(4):739–742.
[29] 俞路,王雅倩,周联高,等.热应激蛋鸡适宜钙磷水平研究[J].广东饲料,2008,17(5):28–29,27.
[30] BOZKURT M,KÜÇÜKYILMAZ K,ÇATLI A U,et al.Performance,egg quality,and immune response of laying hens fed diets supplemented with mannan-oligosaccharide or an essential oil mixture under moderate and hot environmental conditions[J].Poultry Science,2012,91(6):1379–1386.
[31] 李艳.糖皮质激素和热应激对蛋鸡肝脏脂肪代谢影响[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2011.
[32] AKIBA Y,TAKAHASHI K,KIMURA M,et al.The influence of environmental temperature,thyroid status and a synthetic oestrogen on the induction of fatty livers in chicks[J].British Poultry Science,1983,24(1):71–80.
[33] YOSHIDA N,FUJITA M,NAKAHARA M,et al.Effect of high environmental temperature on egg production,serum lipoproteins and follicle steroid hormones in laying hens[J].The Journal of Poultry Science,2011,48(3):207–211.
[34] 卢庆萍.高温环境下不同基因型肉鸡肉质性状及脂肪沉积规律的研究[D].北京:中国农业科学院,2007.

Effect of Cyclic High Temperature on Laying Performance, Egg Shell Quality and Metabolism of Calcium and Phosphorous of Laying Hens

DIAO Huajie[1,2] FENG Jinghai[1*] ZHANG Minhong[1] DIAO Xinping[2] ZHOU Ying[1] LI Meng[1,2] WANG Xuejie[1]

(1. *Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China*; 2. *College of Animal Science and Technology, Northeast Agricultural University, Harbin* 150030, *China*)

Abstract: The aim of present experiment was to simulate the variation of high ambient temperature in laying hen house in summer, and evaluate the effects of different cyclic high temperature on laying performance, egg quality and metabolism of calcium and phosphorus of laying hens. A total

of 288 Hy-Line Brown hens at 28 weeks of age were randomly divided into 4 groups with 6 replicates each and 12 hens in each replicate and housed in 4 artificially controlled environment chambers. Four groups were 21 ℃ normal thermal group (*ad libitum*), 27 to 30 ℃ cyclic high-temperature group (*ad libitum*), 29 to 35 ℃ cyclic high-temperature group (*ad libitum*) and 21 ℃ pair-feeding group (fed the last daily feed consumption of chickens in 29 to 35 °C high cyclic temperature group), respectively. The experiment lasted for 4 weeks. The results showed that compared with 21 ℃ normal thermal group, the average daily feed intake, body weight gain, average egg weight, egg shell strength and yolk color were significant decreased in 27 to 30 ℃ cyclic high-temperature group (P<0.05), and there was no significant difference in the other egg quality related indices between two groups (P>0.05), while the average daily feed intake, body weight gain, average egg weight, laying rate, egg shell strength, egg shell thickness, albumen height and yolk color were all significant decreased (P<0.05) in 29 to 35 ℃ cyclic high-temperature group. Meanwhile, the metabolic rates of calcium and phosphorus of chickens in 27 to 30 ℃ cyclic high-temperature group and 29 to 35 ℃ cyclic high-temperature group had no significant difference compared with 21 ℃ normal thermal group (P>0.05), but the absorption of calcium and phosphorus was significant decreased (P<0.05). Compared with 21 ℃ pair-feeding group, the average egg weight and shell strength were significantly decreased (P<0.05), and the ratio of feed to egg was significantly increased (P<0.05), while the egg quality, metabolic rates and absorption of calcium and phosphorus were not significantly different (P>0.05) in 29 to 35 ℃ cyclic high-temperature group. The results of present study demonstrated that body weight gain, average egg weight and egg shell quality were significantly decreased under 27 to 30 and 29 to 35 ℃ cyclic high temperature, while the laying rate, albumen height and yolk color were also significant decreased under 29 to 35 ℃. The effects of high ambient temperature on laying performance, albumen height and yolk color of laying hens may be associated with the decrease of feed intake. The high temperature may have direct effects on egg shell formation, or the decreasing in absorption of calcium and phosphorus under high temperature may also affect the egg shell quality.

Key words: cyclic high temperature; laying hens; laying performance; egg shell quality; metabolic rates of calcium and phosphorous

i

---

*Corresponding author, associate professor, E-mail: fjh6289 @126.com (责任编辑　田艳明)